

AI を活用したトンネル切羽の地質評価と肌落ち予測に関する研究開発④

－複合解析モデルの適用結果－

基礎地盤コンサルタンツ（株） 正会員 ○三木 茂 日本システムウェア（株） 正会員 野村 貴律
 （一財）先端建設技術センター 正会員 吉川 正 （株）安藤・間 正会員 辰巳 順一
 （一財）先端建設技術センター フェロー 山本 拓治 鹿島建設（株） 正会員 白鷺 卓
 （一財）先端建設技術センター 正会員 橋立 健司 清水建設（株） 正会員 上岡 真也
 戸田建設（株） 正会員 若竹 亮

1. はじめに

筆者らは、AI 技術と画像処理技術を用いて山岳トンネルの切羽観察作業の支援システムの開発を進めている¹⁾。また、AI による予測精度の向上を目指して、画像のみからの予測（以降、画像モデル）に加え、観察項目間の相関性を利用し、さらに前切羽の観察記録結果を利用する複合解析モデルを構築した²⁾。ここでは、画像モデルと複合解析モデルの精度比較と、複合解析モデルの適用結果を示す。

2. 画像モデルと複合解析モデルの精度比較

AI 予測に用いる学習データは、岩石グループごとに構築しており、現在、中硬質塊状岩用と中硬質層状岩用が利用できる。また、切羽観察記録の国交省形式と NEXCO 形式に区別して利用できるようになっている。画像モデルと複合解析モデルの精度比較は、中硬質塊状岩である安山岩の A トンネル（国交省形式、165 切羽）と、中硬質層状岩である粘板岩の B トンネル（NEXCO 形式、288 切羽）で行った。表-1 は A トンネルについて、表-2 は B トンネルについて、予測精度を比較したものである。A トンネルでは、評価項目の圧縮強度、割れ目の頻度、割れ目の状態で正答率の向上がみられ、評価項目の素掘り面の状態、湧水で正答率の低下がみられた。B トンネルでは、評価項目の圧縮強度、割れ目の間隔、割れ目の状態で正答率の向上がみられ、水による劣化で正答率の低下がみられた。複合モデルにより、評価項目の圧縮強度、割れ目の頻度、割れ目の状態で精度の向上が図られている。一方、正答率が低下した評価項目もあるが、いずれのトンネルも評価区分の±1 ランクの誤差を許容すると、高い正答率となっている。

3. 複合解析モデルの適用例

安山岩（中硬質塊状岩）の C トンネル（285 切羽、延長約 1310m）と流紋岩および流紋岩質溶結凝灰岩（中硬質塊状岩）の D トンネル（308 切羽、延長約 1750m）で複合モデルの適用を行った。切羽写真と前 2 切羽の切羽観察記録から予測を行い、実際の切羽観察記録との比較を行った。なお、C トンネルは国交省形式で、D トンネルは NEXCO 形式で切羽評価区分の予測を行った。図-1 と図-2 に、C トンネルと D トンネルの天端における評価項目、圧縮強度と風化変質のトンネルに沿った AI による予測と実際の観察記録の評価区分の変化を示す。評価項目、圧縮強度は複合モデルで改善が見られた項目であり、風化変質は複合解析モデルと画像モデルであまり変化していない項目である。C トンネルでの結果は、坑口部 DIII 区間の土砂状部で AI の予測に乖離が見られるが、CII 区間、DI 区間では比較的、観察記録に一致している。切羽の変化に追従した予測結果であると言える。

キーワード AI 山岳トンネル 切羽観察記録

連絡先 136-8577 東京都江東区亀戸 1-5-7(錦糸町プライムタワー) 基礎地盤コンサルタンツ(株) TEL03-6861-8873

表-1 A トンネル（国交省形式）の正答率

評価項目	画像モデル	複合モデル
切羽の状態	0.83 (0.99)	0.77 (0.95)
素掘面の状態	0.90 (0.99)	0.64 (0.93)
圧縮強度	0.32 (0.76)	0.64 (0.94)
風化変質	0.56 (0.90)	0.60 (0.90)
割れ目の頻度	0.24 (0.70)	0.41 (0.91)
割れ目の状態	0.41 (0.92)	0.69 (0.90)
割れ目の形態	0.49	0.52
湧水	0.84 (0.99)	0.61 (0.96)
水による劣化	0.64 (0.98)	0.55 (0.87)

()は±1 ランクの誤差を許容した場合の正答率

表-2 B トンネル（NEXCO 形式）の正答率

評価項目	画像モデル	複合モデル
圧縮強度	0.29 (0.73)	0.67 (0.97)
風化変質	0.47 (0.93)	0.46 (0.94)
割れ目の間隔	0.46 (0.94)	0.68 (0.98)
割れ目の状態	0.41 (0.92)	0.81 (0.99)
湧水量	0.93 (1.00)	0.89 (1.00)
水による劣化	0.84 (0.96)	0.28 (1.00)

()は±1 ランクの誤差を許容した場合の正答率

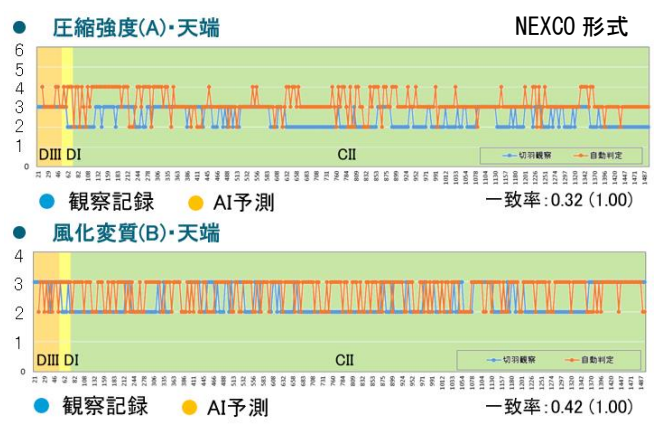
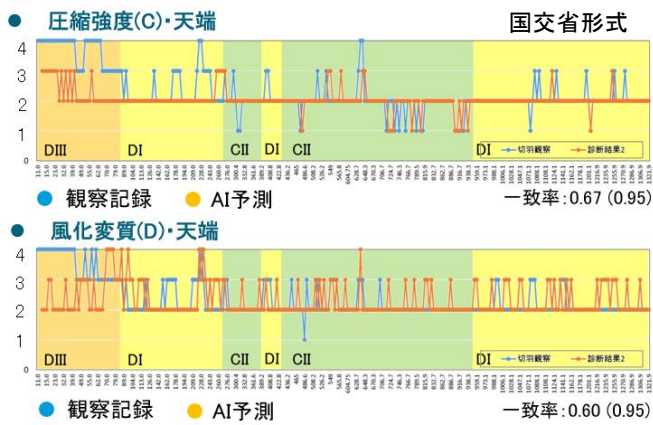


図-1 トンネルに沿った評価区分の変化 (C トンネル)

図-2 トンネルに沿った評価区分の変化 (D トンネル)

表-3 C トンネル (国交省形式) の正答率

	切羽の状態	素掘面の状態	圧縮強度	風化変質	割れ目の頻度	割れ目の状態	割れ目の形態	湧水	水による劣化
一致	0.77(0.85)	0.77(0.83)	0.67(0.77)	0.60(0.65)	0.25(0.27)	0.77(0.80)	0.71(0.72)	0.48(0.50)	0.60(0.66)
±1 許容	0.92(1.00)	0.95(0.99)	0.95(0.99)	0.95(0.99)	0.77(0.85)	0.98(0.99)	-	0.99(0.99)	0.96(0.96)

() は DIII 区間を削除した場合の正答率

表-4 D トンネル (NEXCO 形式) の正答率

	圧縮強度	風化変質	割れ目の間隔	割れ目の状態	湧水量	水による劣化
一致	0.32(0.30)	0.42(0.42)	0.05(0.05)	0.52(0.53)	0.90(0.90)	0.55(0.55)
±1 許容	1.00(0.86)	1.00(1.00)	0.20(0.21)	0.96(0.96)	1.00(1.00)	0.79(0.79)

() は DIII 区間を削除した場合の正答率

D トンネルでは、C トンネルに比較して、圧縮強度と風化変質の観察記録との一致性は劣るが、予測誤差は概ね±1 ランクに納まっており、大きな乖離は見られない。

表-3 と表-4 に、C、D トンネルの各評価項目の正答率を示す。なお、表中の() は、DIII 区間を削除した正答率である。表-3 および表-4 から、両トンネルとも割れ目の頻度(間隔)の正答率が悪いことが示されている。表-1 と比較すると、割れ目の頻度(間隔)の正答率が悪くなる点は一致しており、AI の特性と推定される。D トンネルでは、割れ目の間隔は低い評価区分(割れ目間隔が大きい)で AI は予測しており、乖離が大きい切羽写真では、コントラストが弱く割れ目が識別しにくい画像であった。このことが、特に D トンネルで割れ目間隔の正答率が悪くなった原因であると考えられる。C トンネルでは坑口部 DIII 区間の予測結果の一致性が悪いことを示したが、表-3 に示すように、DIII 区間を除いて一致率を求める、評価項目、切羽の状態、素掘面の状態、圧縮強度、風化変質、水による劣化の一致率が向上している。このことから、切羽の状態が土砂状であるとき、AI の予測が悪いことが推定され、今後の課題であると言える。一方、評価区分±1 の誤差を許容すると、割れ目の頻度(間隔)を除くと、C、D トンネルとも概ね 0.8 以上の正答率を示している。

4. まとめ

画像モデルと複合解析モデルの正答率を比較した結果、評価項目の圧縮強度、割れ目の頻度、割れ目の状態で精度の向上が図られた。しかし、複合解析モデルを適用した結果、割れ目の頻度(間隔)では切羽写真の画質による影響が大きいことが推定された。一方、DIII 区間の土砂状部では教師データが少なく、湧水と水による劣化については、教師データの評価区分に偏りがある。これらのことが、AI の予測結果に表れていると推定され、今後の課題である。なお、本報告は、国土交通省建設技術研究開発助成並びに(一財)先端建設技術センター自主研究開発の成果の一部である。

参考文献

- 1) 野村貴律ら：AI を活用した切羽評価支援システムのプロトタイプについて、令和3年度土木学会学術講演会、CS14-28, 2021
- 2) 野村貴律ら：AI を活用したトンネル切羽の地質評価と肌落ち予測に関する研究開発③、2022年土木学会学術年次講演会論文(投稿中)